NOTA PREVIA SOBRE EL ANALISIS COMPARATIVO DE ELEMENTOS TRAZA EN LAS AGUAS DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL, COMO INDICADORES DE LA ACCION ALTERANTE DE MICROORGANISMOS.

Resultados obtenidos en la Estación A. C. A. E. S. - B. 1 SO durante el período Mayo - 1974 a Abril - 1975.

*por L. Pomar Gomá * y*
*F. Calvet Rovira ***

I. *INRODUCCIÓN*

La acción que los microorganismos realizan en los procesos de alteración de las rocas carbonatadas ha sido puesta de manifiesto en numerosos trabajos. Entre ellos cabe destacar a PIA (1937) que describe ya la alteración liquénica del substrato calcáreo, al igual que más tarde LEVIN (1949), CAMERON (1965), JONES (1965), POMAR (1974), POMAR y ESTEBAN (1974), POMAR et alt. (1975). La acción solubilizante de los productos del metabolismo de los microorganismos es discutida por NEUBERG et alt. (1961), SYERS (1964) y (1969), KRUMBEIN (1969) y (1972). POLYNOV (1945) no admite procesos de meteorización estériles. YARILOVA (1959) describe la acción química y mecánica realizada por líquenes sobre las rocas, lo mismo que PARFENOVA y YARILOVA (1965). LANGE (1963) discute la importancia de la acción liquénica en el trans-

* Laboratorio de Geología. Facultad de Ciencias de Palma de Mallorca.

** Departamento de Petrología y Geoquímica. Fac. de Geología de la Universidad de Barcelona.

porte de metales pesados poco importantes para su metabolismo. La importancia que tiene el clima en todos estos procesos es puesta de manifiesto por JULIEN (1888), BACHMANN (1911) y KRUMBEIN (1966), (1969) y (1972) en el sentido de que condiciona la función protectora o alterante de los microorganismos.

El estudio petrológico de las texturas de alteración telodiagenética en los macizos calcáreos de las regiones Catalana y Balear (POMAR, 1974; POMAR y ESTEBAN, 1974; POMAR, ESTEBAN y LLIMONA, 1975) ha constatado las observaciones realizadas por los autores anteriormente citados poniendo de manifiesto la importancia de los microorganismos como condicionantes genéticos de dichas texturas. La necesidad de evaluar cuantitativamente la función alterante de dichos organismos frente a las procesos de alteración físico-químicos, nos ha llevado a desarrollar la técnica que aquí se describe junto con los resultados obtenidos durante el período de mayo-1974 a abril-1975.

II. *METODO DE TRABAJO*

El método desarrollado consiste, en su esencia, en la comparación de las concentraciones de elementos traza de las aguas procedentes de escorrentía de roca colonizada por microorganismos y de otra porción de la misma roca en la que éstos han sido eliminados, para cada precipitación.

Los cationes mayoritarios en la roca objeto de nuestro estudio son Calcio y Magnesio, por lo que limitamos nuestras determinaciones a estos dos elementos. Dichas determinaciones cuantitativas se han realizado mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica.

La concentración del Ca y del Mg en las muestras procedentes de la escorrentía del agua sobre roca sin microorganismos refleja la naturaleza corrosiva del agua de precipitación mientras que la concentración de dichos elementos en las muestras del agua procedente de la roca colonizada por líquenes refleja la agresividad del agua modificada por la actividad biótica. Dicha agresividad es función de numerosas variables —temperatura, presión parcial del CO_2, etc.— por lo que, al recoger muestras de las mismas precipitaciones bajo idénticas condiciones, la diferencia entre las concentraciones de las muestras de escorrentía procedentes de roca colonizada y de no colonizada es función únicamente de la actividad biológica. En ambas

muestras se elimina el efecto de la contaminación ambiental mediante la determinación de las concentraciones del Ca y Mg en el agua de lluvia, recogida en el mismo punto de muestra.

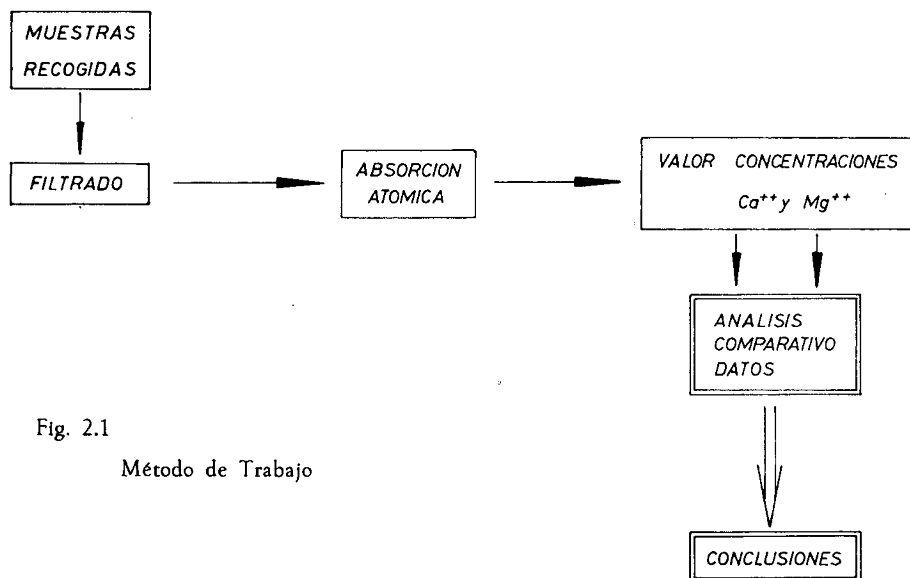


Fig. 2.1

Método de Trabajo

Unas válvulas de flotación colocadas en las botellas de recogida del agua, para todas las muestras, permite separar ésta en fracciones sucesivas en función del volumen de agua precipitada, con el fin de determinar su diferente solubilización por lavado continuo.

El análisis comparativo de los datos obtenidos en cada precipitación se ha realizado de forma gráfica y se expresa en apartado 4.

En la actualidad se halla en funcionamiento, además de la Estación ACAES-B1 SO en Valldemossa que se describe en este trabajo, la Estación ACAES-B2 LL en el Monasterio de Lluc y una tercera (ACAES-B3 MB) en Artá, en fase de instalación.

III. *ESTACIÓN ACAES-B.1 SO*

La estación ACAES-B1 SO de recogida de muestras para el Análisis Comparativo del Agua de Escorrentía Superficial se halla situada en el predio Son Oleza, término municipal de Valldemossa (Baleares) a una cota de 150 m. en la vertiente septentrional de la Sierra Norte de Mallorca y a 1 Km. aproximadamente de la línea de costa.

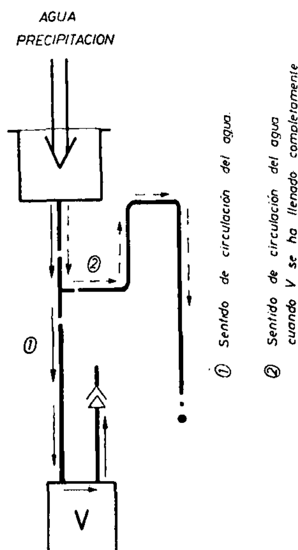


Fig. 3.1 Esquema del funcionamiento de una unidad de recogida.

Estación A. C. A. E. S. B. 1 SO

La zona posee un clima mediterráneo húmedo con precipitaciones abundantes y rocío intenso de octubre a marzo.

La Estación recoge el agua de escorrentía de conglomerados burdigalienses en tres muestras por cada precipitación:

Muestra P: Agua de lluvia,recogida directamente sobre cono de materia plástica, con una superficie de 330 cm^2 que denominamos con la sigla S_P.

Muestra L: Agua de escorrentía de una superficie rocosa (S_l = 566 cm^2) colonizada por líquenes epilíticos y endolíticos.

Esta muestra se ha separado en tres fracciones sucesivas en función del volumen de agua precipitada:

L_1: 1.ª fracción de 0 l/m^2 a 4,9 l/m^2
L_2: 2.ª fracción de 5 l/m^2 a 14,6 l/m^2
L_3: 3.ª fracción de 14, l/m^2 a 50 l/m^2

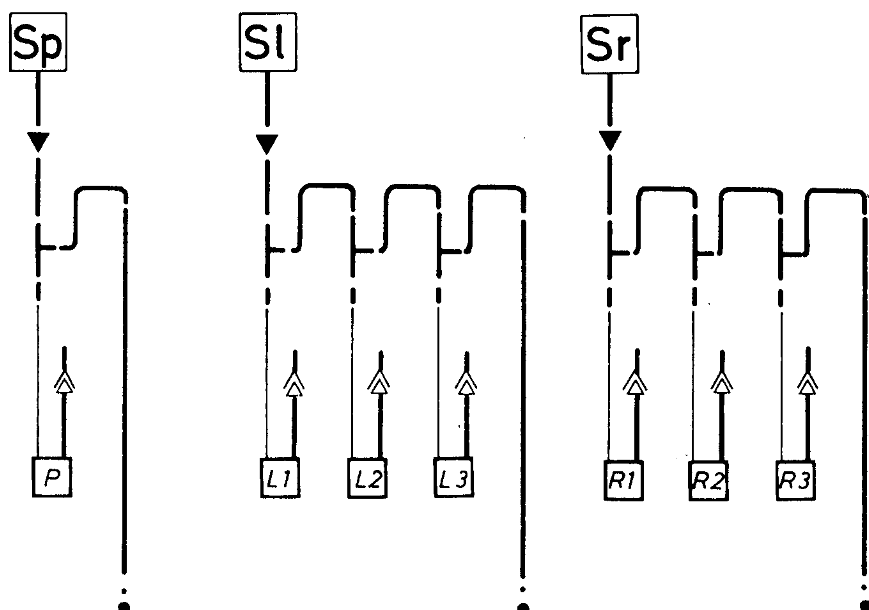
Muestra R: Agua de escorrentía de roca, recogida sobre una superficie (S_r) de 668,5 cm^2 en la que mecánicamente —percusión y abrasión— y químicamente —disolución con HCl conc.— han sido eliminados los microorganismos. La muestra es recogida en tres fracciones, al igual que en la muestra L, que corresponden a:

R_1: 1.º fracción de 0 l/m^2 a 4,2 l/m^2
R_2: 2.º fracción de 4,3 l/m^2 a 12,4 l/m^2
R_3: 3.º fracción de 12,3 l/m^2 a 42,3 l/m^2

Las superficies S_l y S_r se han limitado mediante una pared de 5 cm. de altura, construída con mezcla de mortero y recubierta con resina de poliester, para evitar la contaminación. En la parte inferior, un embudo adaptado a la superficie de la roca recoge el agua que, a través de un tubo de goma, es conducida al interior de la Estación. (Ver fotos 1 y 2).

El sistema de separación en fracciones volumétricas sucesivas, consiste en una válvula de flotación situada en el orificio de salida de aire de la botella y que es accionada por el agua al llenarse ésta. El agua es entonces obligada a vencer un sifón y pasar al recipiente de la fracción siguiente. (Ver gráficas 3.1 y 3.2).

La entrada del agua en cada recipiente se realiza a través de un tubo de 20 cm. de longitud y 4 mm. de diámetro para evitar la mezcla con la ya almacenada, por efecto de las turbulencias.



Sp *superficie pluviómetro*

Sl *superficie liquenes*

Sr *superficie roca*

▼ *filtro de fibra de vidrio , recambiable*

tubo derivación en T

tubo de vidrio de 2 m.m.

valvula de flotación

desagüe

tubo goma

Fig. 3.2 Esquema de la Estación A. C. A. E. S. B. 1 SO.

Explicación, ver texto.

IV. *RESULTADOS*

4.1 Relación de las precipitaciones analizadas

N.º muestra	*Fecha*	*l/m²*	*Observaciones*
1	30-V-74	0,92	
2	31-V-74	0,21	
3	29-VI-74	24,03	
4	18-IX-74	12,95	
5	28-IX-74	13,46	
6	5-X-74	22,18	
7	17-X-74	29,75	Tormenta
8	18-X-74	29,23	Tormenta
9	21-X-74	25,00	
10	1-XI-74	2,95	
11	10-XI-74	9,87	
12	12-XI-74	0,15	
13	26-XI-74	24,36	
14	5-XII-74	9,61	
15	11-I-75	0	Rocío
16	17-I-75	4,62	Tormenta
17	20/21-I-75	7,18	
18	3/10-II-75	3,33	
19	14-II-75	3,33	
20	3/5-III-75	14,87	Tormenta
21	10/17-III-75	30,5	Tormenta
22	18/19-III-75	6,93	
23	20/21-III-75	3,33	Nieve

4.2. *ANALISIS DEL ION MAGNESIO*

L_1 = Concentración de la primera fracción escorrentía liquénica

L_2 = " segunda " " "

L_3 = " tercera " " "

R_1 = " primera " " rocosa

R_2 = " segunda " " "

R_3 = " tercera " " "

P = Concentración del agua de lluvia

VX = Volumen de la fracción X

$$L_1^* = L_1 - P \qquad R_1^* = R_1 - P$$

$$L_2^* = L_2 - P \qquad R_2^* = R_2 - P$$

$$L_3^* = L_3 - P \qquad R_3^* = R_3 - P$$

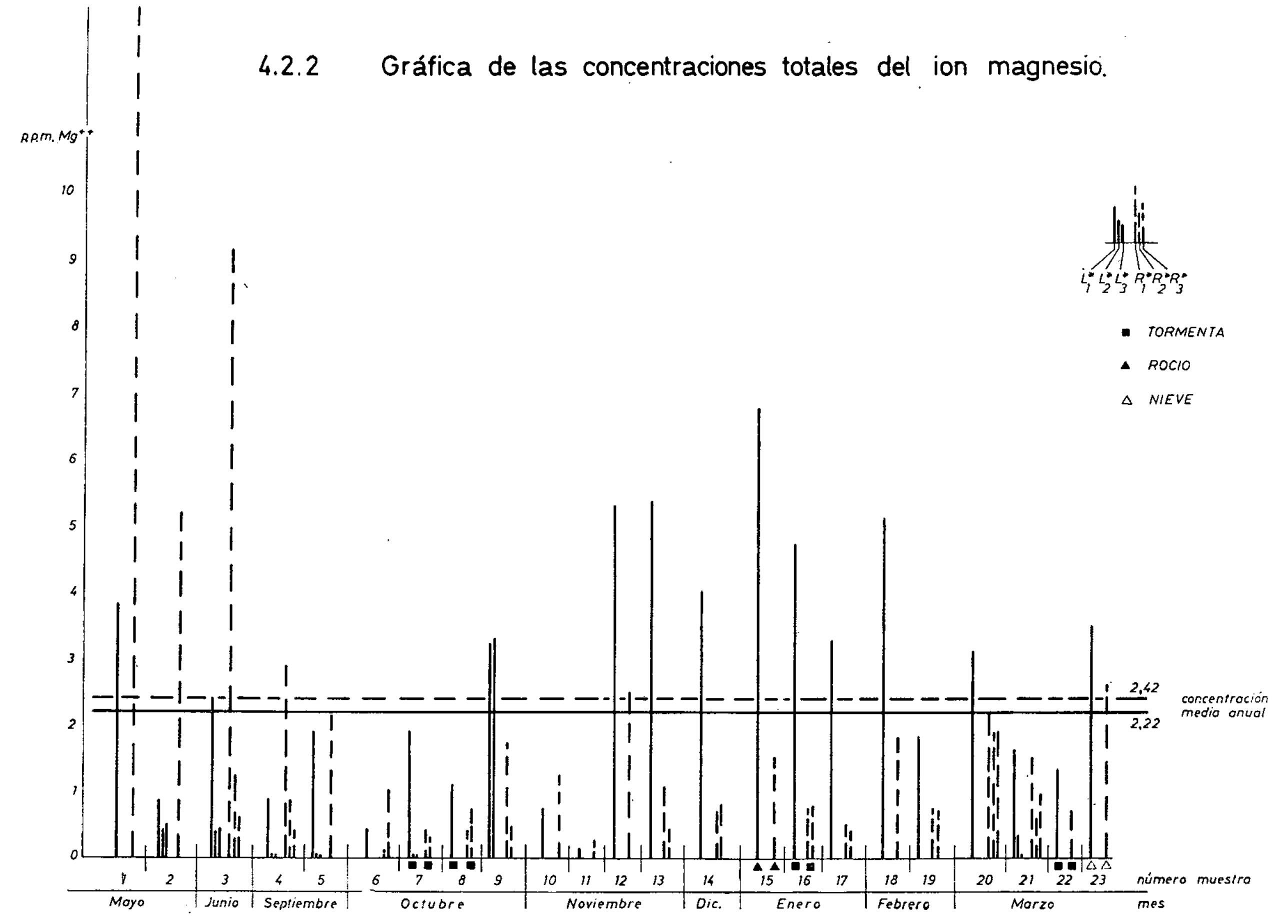
$$ML^* = \frac{L_1^* \cdot VL_1 + L_2^* \cdot VL_2 + L_3^* \cdot VL_3}{VL_1 + VL_2 + VL_3}$$

$$MR^* = \frac{R_1^* \cdot VR_1 + R_2^* \cdot VR_2 + R_3^* \cdot VR_3}{VR_1 + VR_2 + VR_3}$$

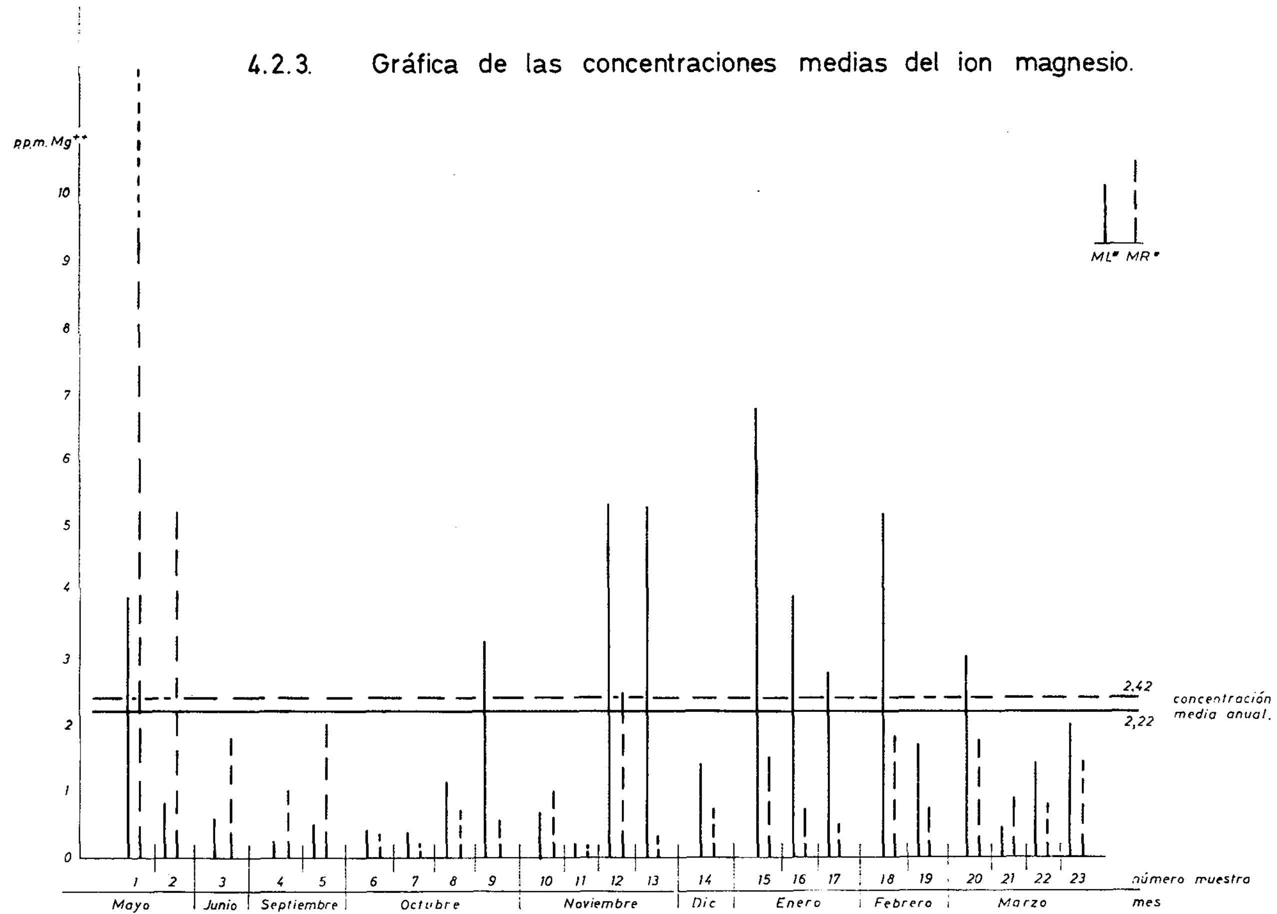
Gráfica 4.2.1. **Relación de las concentraciones del ion Magnesio**

N.º muestra	L_1	L_2	L_3	P	R_1	R_2	R_3	L_1^*	L_2^*	L_3^*	R_1^*	R_2^*	R_3^*	ML^*	MR^*
1	5.9	-	-	2.0	17.5	-	-	3.9	-	-	15.5	-	-	3.9	15.5
2	2.8	-	-	1.9	7.1	-	-	0.9	-	-	5.2	-	-	0.9	5.2
3	4.5	2.5	2.5	2.1	11.2	3.3	2.6	2.4	0.4	0.4	9.1	1.2	0.5	0.6	1.7
4	2.6	1.6	1.6	1.7	4.6	2.4	2	0.9	0.1	0.1	2.9	0.7	0.3	0.2	1.1
5	3.5	1.2	1.6	1.6	3.8	-	-	1.9	0.4	0	2.2	-	-	0.5	2.2
6	2.3	-	-	1.9	2	2.9	1	0.4	-	-	0.1	1.0	0.9	0.4	0.5
7	3.7	1	0.9	1.8	2.2	1	1	1.9	0.8	0.9	0.4	0.8	0.8	0.4	0.2
8	1.9	-	-	0.8	1.2	1.5	1.6	1.1	-	-	0.4	0.7	0.8	1.1	0.7
9	4.5	4.6	-	1.3	3	1.3	-	3.2	3.3	-	1.7	0	-	3.2	0.6
10	-	4.5	-	3.8	-	5	-	-	0.7	-	-	1.2	-	0.7	1.2
11	-	2.6	-	2.8	-	3	-	-	0.2	-	-	0.2	-	0.2	0.2
12	9.3	-	-	4	6.5	-	-	5.3	-	-	2.5	-	-	5.3	2.5
13	6.6	-	-	1.3	2.3	1.7	1.1	5.3	-	-	1	0.4	0.2	5.3	0.3
14	5.6	1.2	-	1.6	2.2	2.4	-	4	0.4	-	0.6	0.8	-	1.4	0.7
15	6.7	-	-	-	14.7	-	-	-	6.7	-	-	14.7	-	6.7	14.7
16	6.9	1.9	-	2.2	2.9	2.9	-	4.7	0.4	-	0.7	0.7	-	3.9	0.7
17	4.2	1.6	-	1.2	1.6	1.5	-	3.0	0.5	-	0.5	0.4	-	2.8	0.4
18	6.3	-	-	1.2	2.9	-	-	5.1	-	-	1.8	-	-	5.1	1.8
19	3.1	-	-	1.4	2.1	1.9	-	1.7	-	-	0.7	0.6	-	1.7	0.7
20	3.6	-	-	0.6	2.9	2.0	2.6	3.0	-	-	2.4	1.5	2.0	3.0	1.7
21	2.3	1.1	0.8	0.7	2.2	1.3	1.6	1.6	0,4	0.02	1.5	0.6	0.9	0.4	0.9
22	2.1	0.6	-	0.7	1.4	-	-	1.4	0.01	-	0.8	-	-	1.4	0.8
23	4.2	-	-	1.9	3.3	-	-	2.3	-	-	1.4	-	-	2.1	1.4
MEDIAS ANUALES														2.22	2.42

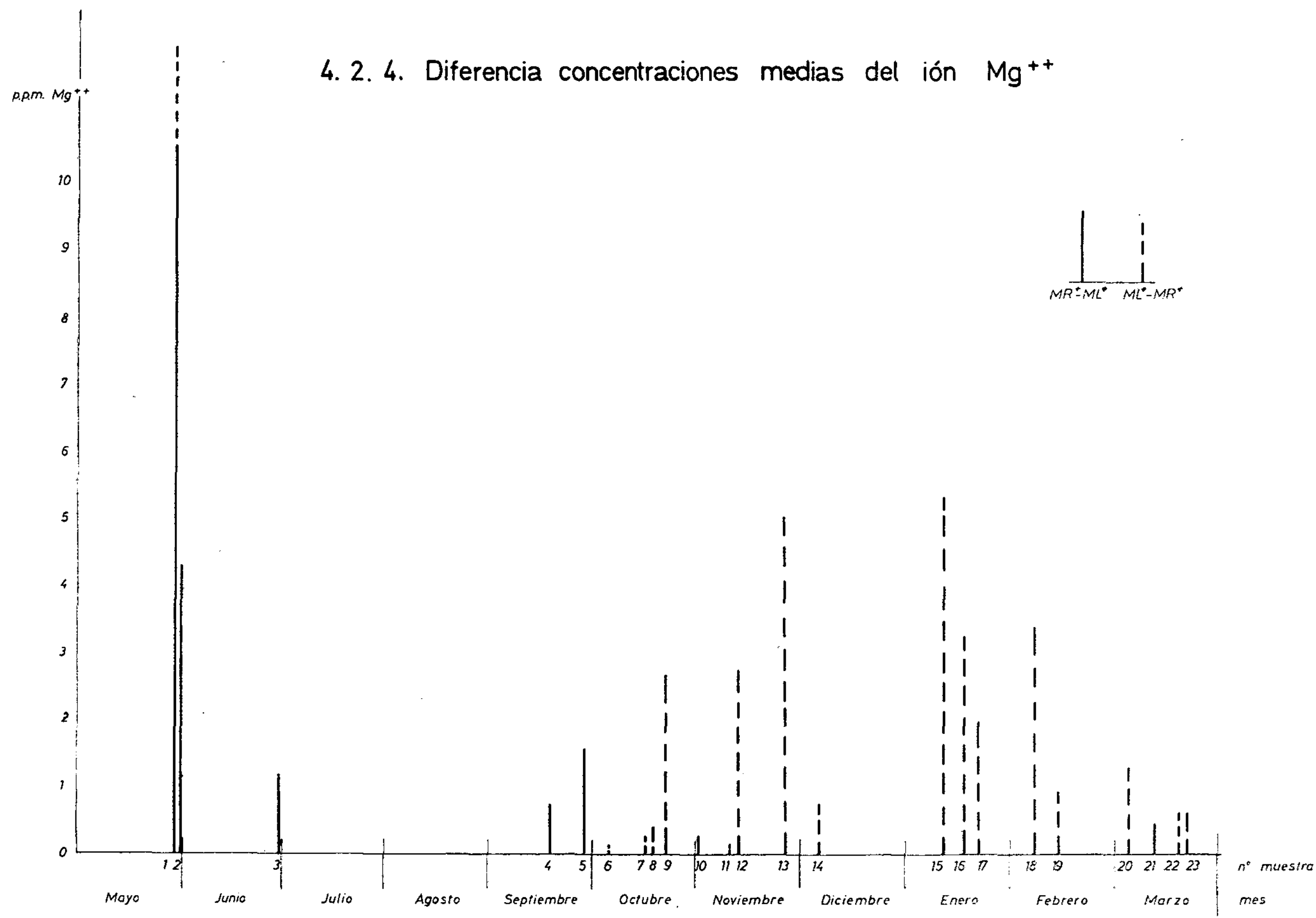
4.2.2 Gráfica de las concentraciones totales del ion magnesio.



4.2.3. Gráfica de las concentraciones medias del ion magnesio.



4. 2. 4. Diferencia concentraciones medias del ión Mg^{++}



4.2.5. *DISCUSIÓN*

Del análisis gráfico de los datos expuestos deducimos:

1.—No consideramos los datos expresados en las muestras 1 y 2, más que de forma orientativa, por presentar concentraciones anómalas que interpretamos como contaminación residual de los trabajos de instalación (utilización de HCl conc.).

2.—Existe una mayor concentración del Mg en las aguas de escorrentía de la roca durante los meses de mayo a septiembre (temperaturas elevadas, período seco con lluvias tormentosas y poco frecuentes, etc.).

3.—Durante los meses de octure a marzo se registra una mayor concentración del Mg en las muestras tomadas de la superficie colonizada por líquenes, con un máximo durante los meses de diciembre a enero (temperaturas bajas, humedad relativa elevada, lluvias frecuentes, abundancia del rocío, etc.).

4.—Queda bien patente la importancia del rocío (muestra 15) como el agente más importante en los procesos de disolución del Carbonato.

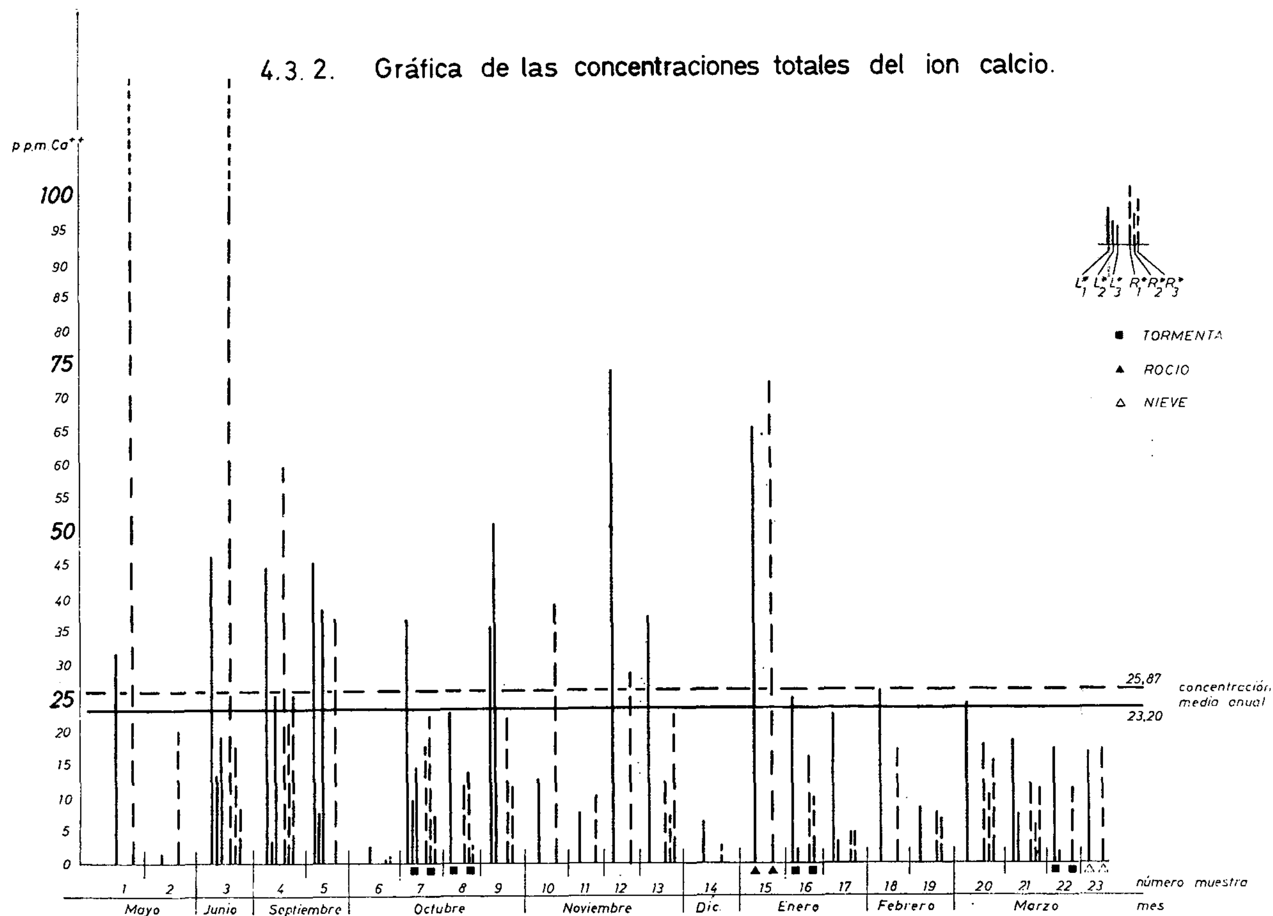
5.—Corrobora el punto anterior el hecho de que la concentración del Mg desciende progresivamente en lluvias consecutivas (muestras 16, 17, 19) y se incrementa tras un período sin precipitación (muestras 18, 20). Las muestras 8 a 14 no manifiestan esta tendencia.

6.—Respecto a las fracciones de cada muestra, se manifiesta (gráfica 4.2.2) en general, que la primera fracción del agua de escorrentía de roca colonizada por líquenes presenta una concentración mayor que las fracciones siguientes, salvo alguna excepción, mientras que las muestras procedentes de la roca presentan, en sus distintas fracciones, concentraciones muy variables.

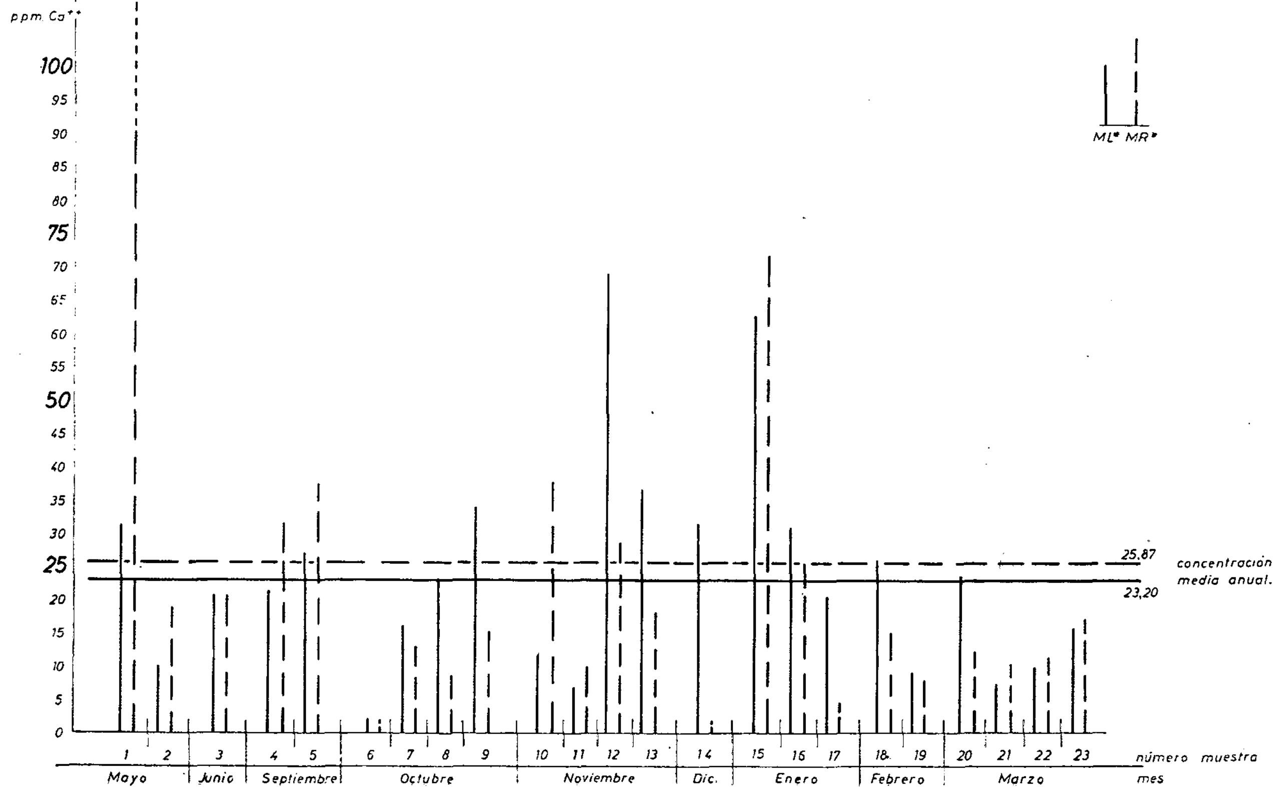
Gráfica 4. 3. 1. Relación de las concentraciones ion Calcio

N.° muestra	L_1	L_2	L_3	P	R_1	R_2	R_3	L_1^*	L_2^*	L_3^*	R_1^*	R_2^*	R_3^*	ML^*	MR^*
1	70.3	-	-	39.	215.1	-	-	31.3	-	-	176.1	-	-	31.3	176
2	21.4	-	-	22.3	40.5	-	-	8.7	-	-	18.5	-	-	8.7	18.5
3	64	31	37	18	-	35.5	26	46	13	19	-	17.5	8	21.	21.
4	53	12	34	8.5	68	30	34	44.5	3.5	25.5	59.5	21.5	25.5	21.1	31.3
5	46	15	46	8	45	-	-	38	7	38	37	-	-	30	37
6	24	-	-	22	20	19	6	2	-	-	2	3	16	2	2
7	39	12	17	2.5	20	24.5	9.5	36.5	9.5	14.5	17.5	22	7	16.2	13.4
8	26	-	-	3	15	17	6.5	23	-	-	12	14	3.5	23	8.7
9	38	54	-	3	25	14.5	-	35	51	-	22	11.5	-	34.3	15.1
10	-	28	-	16	-	54	-	-	12	-	-	38	-	12	38
11	-	14	-	7	-	17	-	-	7	-	-	10	-	7	10
12	97	-	-	28.5	57	-	-	68.5	-	-	28.5	-	-	68.5	28.5
13	40.5	-	-	4	16	11	26	36.5	-	-	12	7	22	36.5	18.1
14	37.5	14	-	32	34	24	-	5.6	2	-	2	1	-	3.9	1.5
15	63.8	-	-	-	71.4	-	-	-	63.8	-	-	71.4	-	63.8	71.4
16	34.6	11.3	-	-	26	19.7	-	19.5	3.2	-	4.5	4.5	-	30.8	25.3
17	29.5	10.01	-	7.2	11.6	11.6	-	22.3	2.8	-	4.3	4.3	-	20.4	4.3
18	32.1	-	-	6.1	22.4	-	-	26	-	-	16.3	-	-	26	16.3
19	17.5	-	-	8.1	16.3	15.6	-	9.4	-	-	8.1	7.4	-	9.4	8.0
20	27.8	-	-	4.3	23.1	14.4	18.8	23.5	-	-	18.8	10.0	14.5	23.5	13.1
21	21.3	11.7	7.8	4.5	16.7	10.4	15.5	16.7	7.2	3.3	12.1	5.8	11.0	7.3	10.1
22	20.9	5.2	-	4.6	15.5	-	-	16.2	0.6	-	10.1	-	-	9.9	10.9
23	22.8	-	-	6.5	23.7	-	-	16.3	-	-	17.3	-	-	16.3	17.3
											MEDIAS ANUALES			23.20	25.8

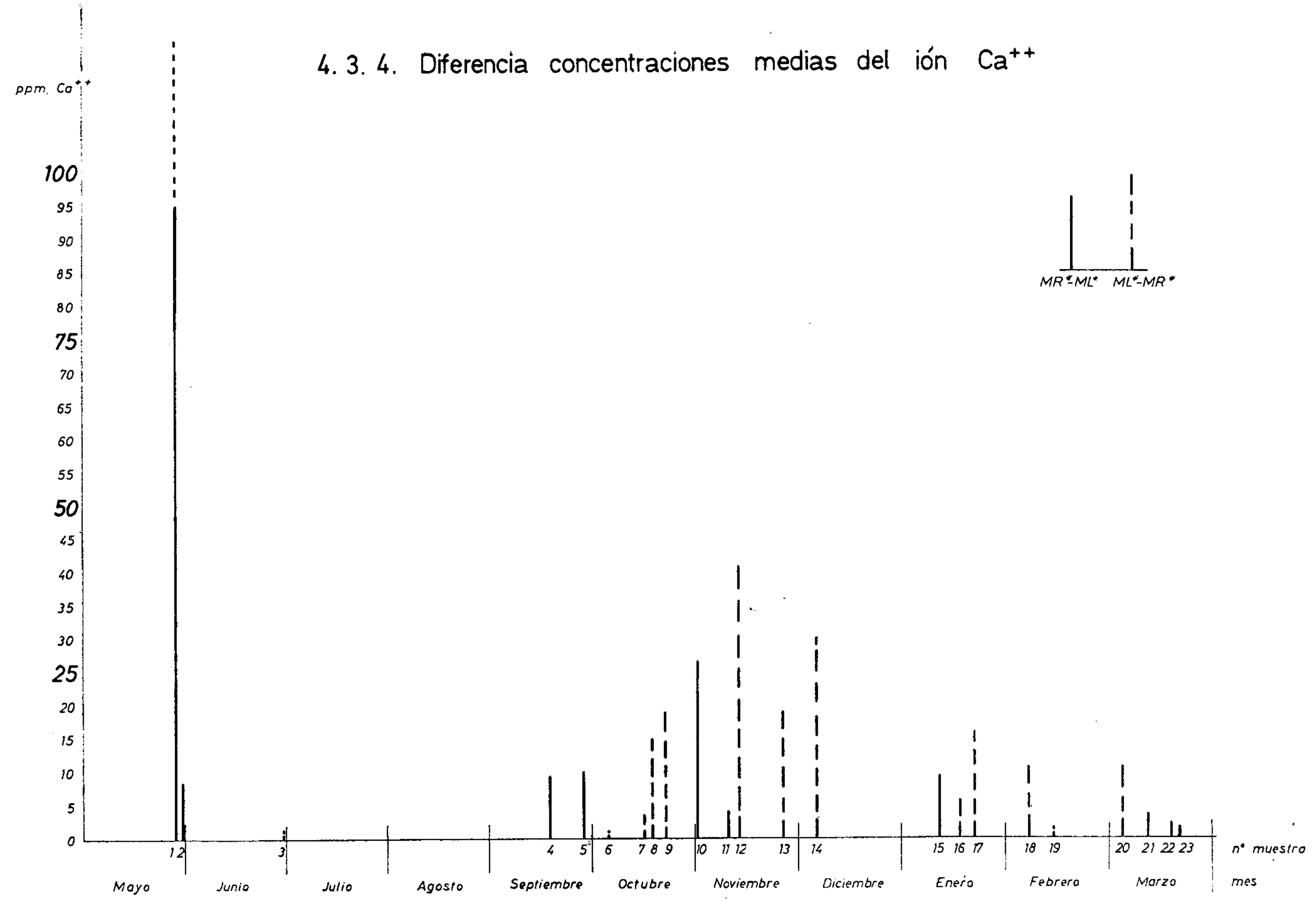
4.3.2. Gráfica de las concentraciones totales del ion calcio.



4.3.3. Gráfica de las concentraciones medias del ion calcio.



4. 3. 4. Diferencia concentraciones medias del ión Ca^{++}



4.3.5. *DISCUSION*

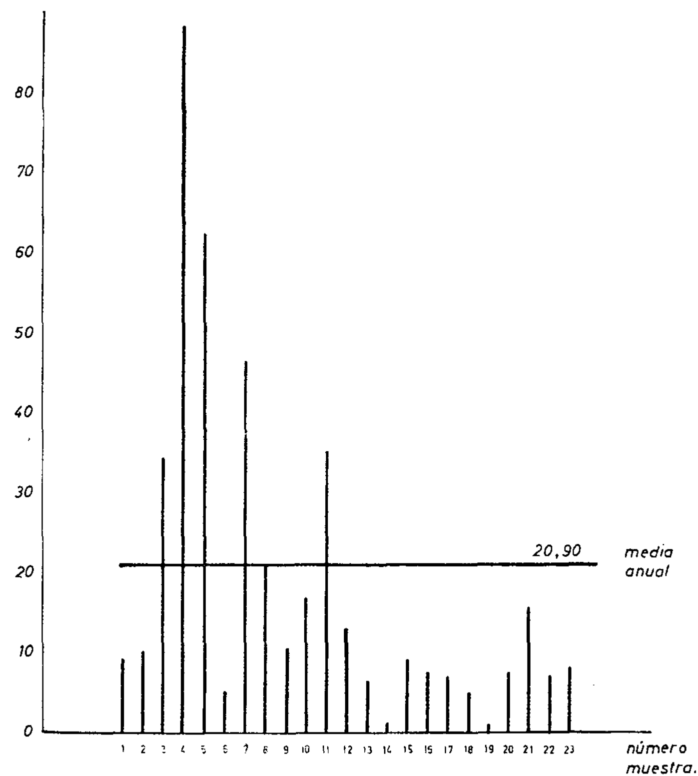
Del análisis gráfico de los valores de las concentraciones del ión calcio podemos deducir que dicho elemento manifiesta un comportamiento, en general, similar al del Magnesio, pero que presenta numerosas anomalías.

4.4. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN CALCIO/MAGNESIO

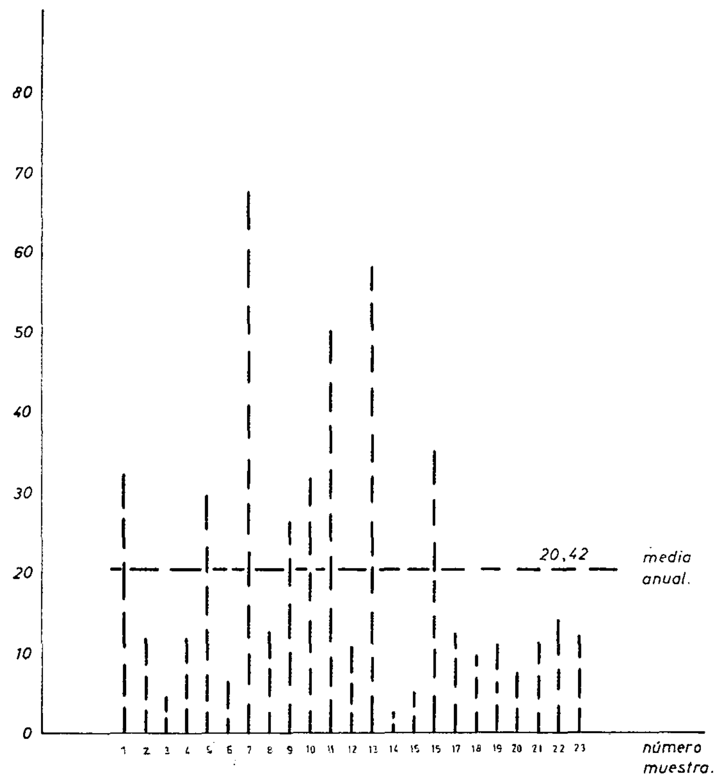
La relación Ca/Mg se ha obtenido por el cociente concentración en ppm. de Ca: concentración en ppm. de Mg. Los datos obtenidos son los siguientes:

Muestras escorrentía LIQUENES	N.º Muestra	*Muestras escorrentía* ROCA
8,0	1	34,21
10,2	2	11,36
34,31	3	3,59
87,96	4	11,79
62,42	5	29,61
5	6	5,88
46,28	7	66,85
20,90	8	12,56
10,68	9	26,38
17,14	10	31,66
35	11	50
12,92	12	11,4
6,87	13	57,5
2,24	14	2,01
9,51	15	4,84
7,84	16	34,60
7,34	17	10,33
5,08	18	8,96
1,17	19	11,26
7,81	20	7,39
16,86	21	11,38
6,98	22	14,36
8,01	23	12,15
20,90	MEDIAS ANUALES	20,42

4.4.1. Relación Ca^{++}/Mg^{++} muestras escorrentía de liquen.



4.4.2. Relación Ca^{++}/Mg^{++} muestras escorrentía de roca.



4.4.3. *DISCUSIÓN*

Del análisis gráfico de los apartados anteriores se deduce:

1.—Las muestras precedentes de la escorrentía de la roca colonizada por líquenes, presentan una relación Ca/Mg que se incrementa rápidamente en los meses de verano hasta alcanzar un máximo en las primeras lluvias del mes de septiembre. Inmediatamente manifiesta un descenso que llega a su mínimo en diciembre para efectuar un ligero aumento y estabilizarse en los mismos valores del inicio del ciclo.

2.—Las muestras procedentes de la escorrentía de roca no colonizada manifiestan una tendencia análoga, pero en modo alguno tan definida. Los valores máximos se establecen entre los meses de octubre a enero alternando con fuertes descensos de los valores de la relación Ca/Mg. El valor mínimo coincide en la misma fecha que en las muestras procedentes de los líquenes y el posterior incremento hasta la estabilización se consigue de forma irregular.

3.—La relación Ca/Mg media anual presenta un valor ligeramente superior en las muestras procedentes de la escorrentía liquénica (20.90), frente a las muestras procedentes del lavado de roca sin colonizar (20.42).

V. *CONCLUSIONES*

El conjunto de los datos obtenidos en la Estación ACAES-B.1 SO durante el período de mayo-1974 a abril-1975, es insuficiente para extraer conclusiones generalizables sobre los mecanismos de disolución en la superficie libre de las rocas carbonatadas, en lo que al balance de la acción química y la acción biológica se refiere. No obstante, todos estos datos, permiten deducir conclusiones locales utilizables como hipótesis en una investigación más amplia y generalizada. En consecuencia emitimos las siguientes conclusiones:

1.—Se constata la intervención de los microorganismos en la meteorización superficial de las rocas carbonatadas.

2.—Dicha intervención se manifiesta como un CONTROL de la disolución, incrementándola o limitándola en función de la actividad metabólica; durante los meses de verano las aguas presentan fuerte agresividad

mientras que las concentraciones de las muestras procedentes de los líquenes presentan valores muy bajos, y al contrario, durante los meses de octubre a marzo, las muestras de escorrentía de líquenes presentan valores de concentración elevados frente a la baja agresividad del agua.

3.—Confirma el control biológico de la disolución superficial de las rocas el hecho de que la concentración de los cationes analizados guarda proporción con la intensidad de rocío, como consecuencia de la influencia de éste en la actividad metabólica de los líquenes. Esta misma observación nos induce a otorgar alagua de uvia un papel secundario —lavado de los elementos puestos en disolución por los microorganismos— en los procesos de meteorización de las rocas carbonatadas.

4.—Apoya las anteriores observaciones el comprobar que es el Mg el elemento que manifiesta este comportamiento de forma mejor definida, por ser este elemento de importancia fundamental para el metabolismo vegetal, frente al Ca que presenta un comportamiento pasivo. La mayor relación Ca/Mg en las muestras procedentes de la escorrentía de roca sin colonizar puede interpretarse en función de la incorporación del Mg al anabolismo del líquen.

5.—El carácter pasivo del Ca en los procesos de disolución superficial sometidos al control biológico queda evidenciado, por otro lado, en la evolución de la relación Ca/Mg durante el período estudiado: En las muestras de roca colonizada, la eliminación del Calcio se realiza de forma masiva al inicio del ciclo vegetativo de los líquenes, mientras que las muestras procedentes de la roca sin colonizar no manifiestan una eliminación del Ca paralela, aunque sus valores máximos coinciden con el período invernal.

6.—En la zona estudiada, el balance de la disolución de la roca por vía química o por vía biológica —concentraciones medias anuales— implica una ligera acción protetora de los líquenes.

7.—De los apartados anteriores, además de la constatación de que no existe en la zona ninguna superficie libre de roca sin colonizar por microorganismos —líquenes fundamentalmente— podemos CONCLUIR que la meteorización superficial de las rocas carbonatadas, en dicha zona, está totalmente sometida al control biológico, confirmando las ideas a este respecto, expresadas en POMAR (1974), POMAR, ESTEBAN (1974) y POMAR, ESTEBAN, LLIMONA (1975).

VI. *AGRADECIMIENTOS*

Debemos hacer constar nuestro agradecimiento al Dr. M. ESTEBAN por sus orientaciones y críticas en la puesta a punto del método y la elaboración de los resultados, así como al Dr. R. VAQUER en la realización e interpretación de los análisis cuantitativos.

Al Dr. X. LLIMONA del Dpto. de Botánica sus numerosas orientaciones y a nuestro compañero G. MOYA sus críticas en los aspectos biológicos.

A D. Pedro COLL OLIVER agradecemos las facilidades concedidas para la instalación de la Estación ACAES-B.1 SO en el predio SON OLEZA.

A nuestro compañero J. VERD su colaboración y ayuda tanto en la instalación de la Estación como en la recogida de muestras.

Finalmente debemos dejar constancia de nuestro agradecimiento a J. GINES por la realización de los gráficos y esquemas y a C. MIRO por el mecanografiado.

RÉSUMÉ

On décrit une méthode de travail pour détérminer la fonction corrosive des microorganismes vivants sur la surface des calcaires, à travers l'analyse d'eaux de pluie qui s'ecoulent sur cette surface. Dans ce travail, on décrit, aussi, les rèsultats obtenus avec le même méthode, pendant la période d'un an a Majorque (Espagne), qui mette en évidence le CONTROL biologique des procèsses de disolution superficiel des calcaries.

ABSTRACT

This paper introduces an analytic technique to evaluate the role of microrganisms in limestone weathering thorouugh differences in trace elements composition (Ca and Mg) in rain water affeting «clean» and «natural» rock surfaces. Mg concentration in dainage water along o one year shows a clear dependence on biological activities of microrganisms, mainly lichens, colonizing the surface of the rock.

BIBLIOGRAFIA

BACHMANN, E. 1911. Die Beziehung der Kieselflechten zu Ihrer Unterlage-II. Granat un Quarz.
Ber. dt. Bot. Ges. 29:261-273.

CAMERON, R.E. 1965. Soil Studies - Microflora of desrt regions. Distribution and abundance of desert microflora.
J.P.L. Space Programs, Summari 37-34, IV: 193-292.

JONES, R.J. 1965. Aspects of the Biological Weathering of limestone pavement.
Proc. Geol. Assoc. 76 (4): 421-433.

JULIEN, A.A. 1882. Unde Decai of building Stones. Parts I and II.
Trans. N.Y. Acad. Sc. II: 67-69; 120-138 En Krumbein (1972).

KRUMBEIN, W.E. 1966. Zur Frage der Gesteinsverwitterung (über geochemische und mikrobiologische Bereiche der exogenen Dynamik).
Diss., Würzburg 1966. Tesis Doctoral INEDITA. En el mismo autor 1972.
1969 Uber den Einfluss der Mikroflora auf die exogene Dynaimk (Verwitterung und Krustenbildung).
22 Geologische Rundschau, 58 (2): 333-363.
1972. Role des Microorganismes dans la genese, la Diagenese et la degradation des roches en place.
Rev. d'Ecolg. Biol. du Sol, 9 (3): 283-319.

LANGE, O. 1963. Der Schwermellgehalt der Flechten aus dem Acrosporetum sinopicae auf Erzschlackeuhaiden des Harzes.
Mitt. flor.-soz. Arb Gemein. N.F., 10: 156-183 en Krumbein (1972).

LEVIN, F.M. 1949. Protsess Pockvoobrazovariya god lishairikami na izvestnyakh i diopitakh.
Vest. Mosk. gos. Univ. 2 en Kononova.

NEUBERG, G.; SALVERSEN, R.H.; OSTER, G. 1961. Role of Phosphoglicerïc acid in the solubilitation of inorganic substances in nature.
Arch. Biochem. Biophis. Y, 95: 533-539.

PARFENOVA, E.I.; YARILOVA, E.A. 1965. Mineralogical investigations in Soil Science.
Israel Programm for Scien. Trans. Jerusalem.

PIA, J. 1937. Die Kalklösend Thallophyten.
Arch. f. Hydrobiol. 31: 264-328, 341-398.

POMAR, L. 1974. Procesos telodiagenéticos y la acción de Microorganismos en las rocas carbonatadas.
Tesis Licenciatura. Dep. Petrología. Univ. Barcelona. Inédita.

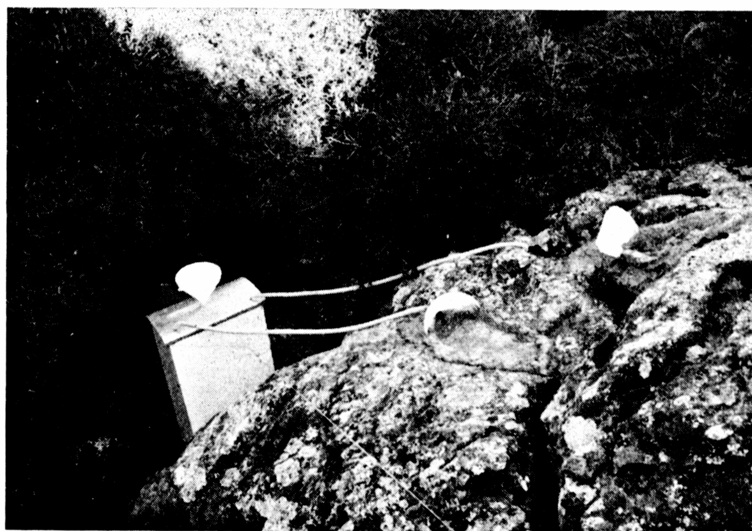
POMAR, L.; ESTEBAN, M. 1974. Meteorización superficial y fisural en rocas carbonatadas y su relación con Microorganismos.
Ilerda. Com. VII Congr. Gr. Esp. Sedim. Tremp. EN PRENSA.

POMAR, L.; ESTEBAN, M.; LLIMONA, X. 1975. Acción de Líquenes, Algas y Hongos en la Telodiagénesis de carbonatos de la zona litoral y prelitoral catalana.
Publ. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona: EN PRENSA.

POLYNOV, B.B. 1945. Citado por Jacks, 1953.
Pochvovedenie, 1945: 325-339.

SYERS, J.K. 1964. A study of soil formation of Carboniferous limestones with particular reference to the significance of lichens as pedogenic agents.
Tesis, Durham Univ. Citado en Krumbein, 1972.

YARILOVA, E. A. 1950. The transformation of the minerals of Syenite in the first stages of soil formation.
Trudy. Pochv. Inst. Dokukchaeva, 34: 110-142.



FOT. 1. – Estación ACAES, 31SO. En primer término la superficie de roca, sin líquenes (SR). Al fondo a la derecha superficie con líquenes (SL). A la izquierda, la estación con (SP) la toma de muestra de agua de lluvia.



FOT. 2. – Detalle del interior de la estación ACAES B.1SO.